대한초음파의학회지
2000;19:61 - 70

# 혈관내 초음파 촬영술

연세대학교 의과대학 진단방사선과학교실
*연세대학교 의과대학 내과학교실

원 종 윤 · 이 도 연 · 홍 범 기*

## 서 론

조영제를 이용한 혈관조영술이 혈관의 구조를 알고 혈관 질환을 진단하는데 현재까지 주된 진단법으로 이용되고 있으며 CT 혈관 조영술과 자기공명 혈관 조영술도 이러한 목적으로 이용되고 있다. 최근 혈관내 중재적 시술이 기존의 치료를 대체하며 각광을 받음에 따라 혈관 영상은 단순한 진단적 목적이 아닌 중재적 치료의 방향을 정하고, 치료의 도구로서 혹은 치료 후 예후 판정의 척도로서 매우 중요한 의미를 가진다. 혈관내 초음파 촬영술(intravascular ultrasonography, IVUS)은 빠르게 발전하고 있는 영상 진단법으로 혈관강(vascular lumen), 혈관벽과 혈관 주위 구조물의 정확한 실시간 단층 촬영상을 얻을 수 있어 혈관 병리의 진단율을 높일 수 있을 뿐만 아니라 특히 중재적 시술에 있어 다른 혈관 조영술에 비해 많은 잇점을 가지고 있다.

## 1. IVUS의 역사

최초의 IVUS의 원형은 1950년대 개발되었으며 이는 심장의 움직임과 각 심실 및 심방의 용적을 측정하기 위한 고정식 변환장치(transducer)였다 [1, 2].

1956년에 Wild와 Reid가 장의 점막과 종양을 진단할 수 있는 작은 초음파 탐촉자(probe)를 개발하였으며 [3] 그 이후로 초음파를 체내 각 부위에 적용시키기 위해 소형화 시키는 많은 연구들이 행하여졌다. 초기의 탐촉자는 A - 모드의 초음파만이 가능하였으나 60년대 들어 2차원영상을 만들 수 있게 되었다. 1962년에 Omoto등이 혈관내 탐촉자를 개발하였고 [4], 60년대 말에 이르러 9F 회전식 탐촉자(rotating probe)가 만들어져 심장의 구조 및 혈관내벽의 실시간 영상을 얻을 수 있게 되었다. 70년대 들어 단면 영상이 가능한 다중 전극 배열식 변환장치(multi - element array trasducer)로 발전하였고 경식도(transesophageal) 초음파와 요도와 방광내 초음파가 가능하게 되었다[5, 6]. 80년에 들어 현재의 기능과 비슷한 소형 탐촉자들이 개발되었으며 80년대 말에 인체의 혈관내 영상을 위한 도관 초음파 탐촉자(catheter based sonographic probe)가 상용화 되었다. 이와 겸하여 레이저 소작(laser ablation)이나 절단기(cutting element), 혹은 전기 소작을 위한 전극을 가진 IVUS가 고안되었다 [7].

## 2. IVUS의 기본구조

현재의 IVUS는 Sonicath(Meditech/Boston Scientific Corporation, waterton, MA, U.S.A.) 같은 회전식 반사경 변환기(rotating mirror transducer)와 Visions catheter (EndoSonics Corporation, Rancho Cordova, CA, U.S.A.)와 같은 다중 배열식 변환기(multiple array transducer)의 2가지 종류로 나눌 수 있다. 회전형은 음향 반사경 - 변환기 조합체(acoustic mirror - transducer assembly)가 도관의 끝에 연결된 형태이며 이 조합체가 소형모터와 연결된 선에 의해 실시간 영상을 얻을 만큼의 속도로 회전하며 360도 횡단면을 얻는데, 보통 약 1800rpm 정도로 회전한다. 이와 비슷한 형태로 변환기가 직접 회전을 하여 실시간 영상을 얻는 종류도 있으나 잘 사용되지않고 있다. 다중 배열형(Multiple array)은 도관의 끝에 여러 개의 변환기가 원형으로 배열되어 있어 각 변환기가 차례로 초음파를 발산하며 360도 횡단면을 얻는다. 다중 배열식 변환기는 실제로 움직이는 부분이 없고 초음파의 모양을 전기적으로 조작할 수 있는 장점이 있어 회전형보다 더 좋은 해상도(resolution)와 투과도를 얻을 수 있다 [8].

IVUS의 주파수는 고정되어 있으며 관상동맥은 30 MHz, 그 외 말초혈관은 12.5 - 20 MHz의 주파수를 사용한다. 작은 직경의 탐촉자는 더 높은 주파수의 초음파를 사용하므로 고해상도의 영상을 얻을 수 있으나 투과도(penetration depth)는 감소한다. 보통 가장 많이 사용하는 20 MHz 의 탐촉자의 경우, 0.1

논문접수 : 2000년 5월 27일, 논문게재결정 : 2000년 6월 7일
본 연구는 1998년도 메디슨 연구비의 보조로 이루어진 것임.
통신저자 : 이도연, (120 - 752) 서울시 서대문구 신촌동 134번지, 연세대학교 의과대학 진단방사선과학교실
Tel. (02)361 - 5837 Fax. (02)393 - 3035 E - mail: dyl@yumc.yonsei.ac.kr

mm의 해상도와 1.5 - 2.0 cm정도의 투과도를 갖는다 [9].

다른 초음파 탐촉자와 마찬가지로 IVUS도 몇 가지의 인공음영을 나타낼 수 있다. 가장 흔한 것으로, 혈류에 의한 근역 효과(near field effect)에 의해 영상방(imaging chamber) 주위에 원형의 밝은 에코가 발생할 수 있으며 이 음영들은 전기적으로 제거할 수 있다. 그러나 이러한 경우 도관을 중심으로 중심 맹점(central blind spot)이 생기고 이에 의해 탐촉자와 접하는 조직의 가시도(visibility)는 감소하게 된다. 그외 흔한 인공음영(artifact)은 도관 끝에 위치한 변환기에 연결된 전선(eletrical wire)에 의한 것으로 영상의 15도 방향에 위치하며 또한 도관을 유도하기 위한 유도 철사 역시 인공음영을 만들 수 있다(Fig. 1). 이러한 경우 도관의 회전이 가능하므로 문제가 되지는 않으나 3차원 재구성(reconstruction) 영상에 인공음영을 만들 수 있다.

현재 IVUS 도관은 관상 동맥용은 보통 2.9 - 3.2 F, 말초 혈관용은 6 - 6.2 F 를 사용하며 각각 0.009 - 0.018 inch와 0.025 - 0.038 inch의 유도철사를 통해 삽입이 가능하다.

## 3. IVUS 영상

***혈관 접근(Vascular Access)***

IVUS 도관은 경피적 혹은 혈관 절개술(cut - down)에 의해 삽입된 도관 피포(sheath)를 통하여 삽입할 수 있으며 대퇴 동맥이나 대퇴 정맥을 가장 많이 사용한다.

동맥 검사의 경우 주위의 정맥이나 동맥 주위 조직을 관찰할 수 있으며 그 예로 좌측 신정맥은 대동맥 앞을 가로지르며 좌측 총장골 정맥은 우측 총장골 동맥의 뒤쪽을 주행하는데 이들은 영상의 방향 설정을 위한 지표 (land mark)로 이용할 수 있다.

***도관 유도(Catheter Delivery)***

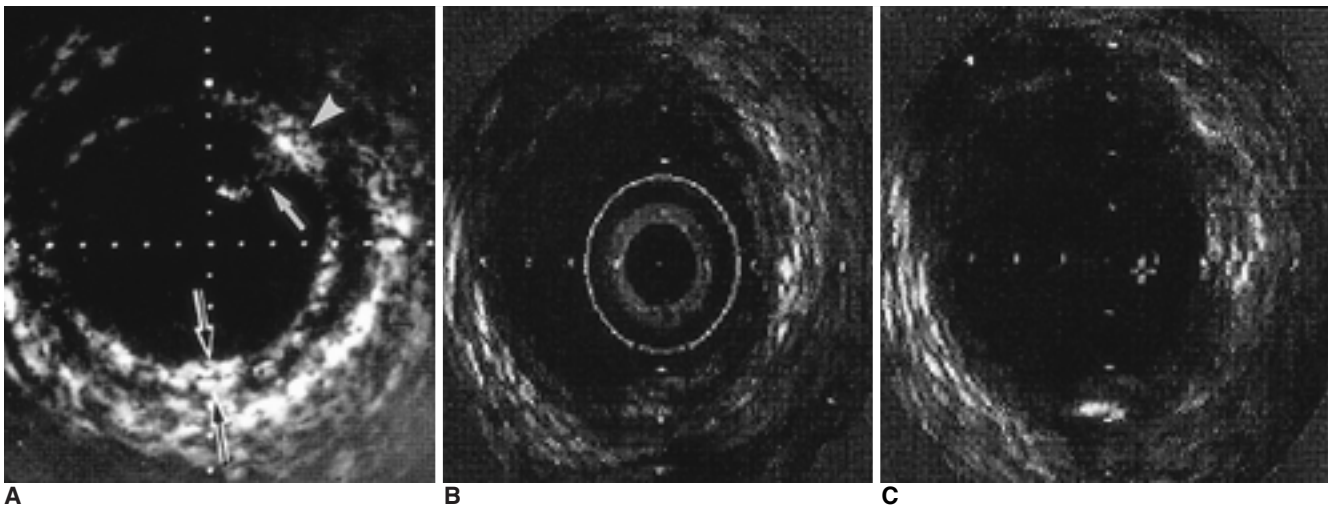
앞서 말한 바와 같이 IVUS 도관은 유도 철사를 통하여 삽입이 가능하므로 혈관의 구불구불한 정도와 고도의 협착(tight stenosis)의 유무가 중요하다.

도관의 끝이 혈관의 가운데에 위치할 경우 영상의 질은 최적화 될 수 있으며 편심적(eccentric)으로 위치할 경우 도관에 가까운 혈관벽의 에코가 더 밝게 보여 혈관벽의 두께가 실제와 다르게 보일 수 있다. 이는 특히 3차원 재구성 영상에 더 큰 영향을 줄 수 있다. 구불구불한 혈관의 경우 체외에서 시술자의 손으로 혈관을 압박하거나 움직이게 하여 혈관을 곧게 펴 도관이 어느 정도 혈관의 중심에 위치하게 할 수 있으며 이때, 도관을 혈관내에서 뒤로 후퇴시키며 영상을 얻는 것이 전진시키며 영상을 얻을 때보다 부드럽고 끊기지않은 좋은 영상을 얻을 수 있다.

혈관강과 혈관벽사이의 경계면(interface)은 몇 가지 요인에 의해 불명확해질 수 있는데 특히 작은 직경을 가진 혈관내 혈류의 반향적인(echogenic) 성질이나, 도관이 혈관벽에 밀착된 경우, 투과도가 적은 고주파수의 탐촉자의 사용 등이 그 예이며 그 경우 혈관을 생리 식염수 혹은 초음파 조영제로 씻어냄으로써 경계면을 확인할 수 있다 [10, 11].

***IVUS 영상 및 3차원 재구성***
***(Imaging Orientation and Reconstruction)***

IVUS영상의 해석은 중재적 시술의 경우 더욱 중요하며 소프트웨어적으로 화면에서 영상의 회전(rotation)이 가능하다. 앞서 말한 바와 같이 신정맥, 장골동맥, 장골정맥, 내장골동맥의



A B C

**Fig. 1.** Common artifacts from the IVUS catheter.
**A.** Transducer connecting wire crossing the imaging chamber can create an artifact (arrow), which exaggerates adjacent intimal thickness mimicking atheromatous plaque (arrow head). Lower arrows indicate true plaque. **B, C.** The imaging catheter itself makes a round echo-void and donut-shaped bright artifact around the catheter from‘ near-field effect ’(in the circle) (**B**). After digital subtraction, this artifact is no longer seen, however adjacent atherosclerosis and vessel wall echo are also attenuated(**C**).

기시부, 복강동맥이나 상장간막동맥 같은 주위의 여러 구조물들을 이용하면 혈관내 영상의 방향 결정에 도움이 된다.

기술의 발달로 종축으로 배열된 2차원 영상을 전산 처리된 3차원 영상으로 재구성이 가능하며 5cm 길이의 혈관을 재구성할 경우 20초 동안 도관을 천천히 뒤로 후퇴(pull back)하며 150 프레임(frame)정도의 영상을 얻어 이를 3차원적으로 재구성한다. 최근에는 심장 동기(cardiac gating)를 한 뒤 각 심장 박동 주기마다 기계적으로 도관을 0.2mm씩 후퇴시키며 영상을 얻을 수 있는 장치가 상용화되었으며 특히 관상 동맥 질환의 IVUS 검사시 심박동에 의한 인공음영을 줄여 더 좋은 3차원 영상을 얻을 수 있다 [12] (Fig. 2). 3차원 영상은 혈관내 투시를 포함한 모든 방향에서의 투시가 가능하며, 혈관벽의 모양은 쉽게 볼 수 있으나 석회화반(calcified plaque)이 있는 부위는 초음파의 감약(attenuation)으로 인한 영상 정보의 소실이 있을 수 있다.

## 4. 임상 응용

### *A. 혈관계*

정상 혈관벽 영상(Normal Vessel Wall Image)

IVUS에 의한 혈관의 단층 촬영상은 원형의 혈관벽에 3겹의 층이 관찰되며, 혈관내의 혈류는 무반향성이어서 관찰되지 않는다. 동맥의 혈관벽에서 관찰되는 3층 중 안쪽에서 관찰되는 고에코의 층은 혈관내막(intima)과 내탄력막(internal elastic lamina)에 의한 것으로 알려져 있으며, 혈관벽의 바깥쪽에서 관찰되는 고에코의 층은 외탄력막(external elastic lamina)과 외막(adventitia)에 의한 에코 때문이며, 중막(media) 층은 저에코로 관찰되는데 이는 평활근 세포(smooth muscle cell)에 의한 것이다 (Fig. 3).

동맥에는 탄력 동맥(elastic artery)과 근동맥(muscular

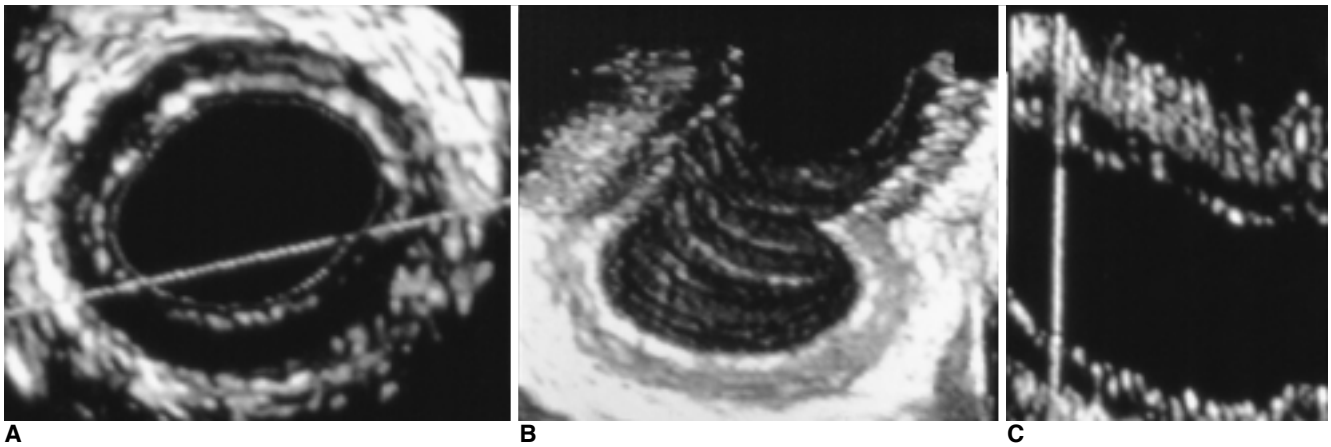



**Fig. 2.** Three dimensional reconstruction image.
**A, B, C.** Two dimensional images(**A**) are stacked by the computer software to get a three dimensional reconstructed image(**B**). Longitudinal section of the 3-D image can be reconstructed(**C**). Each section lines are displayed in **A** and **C**.

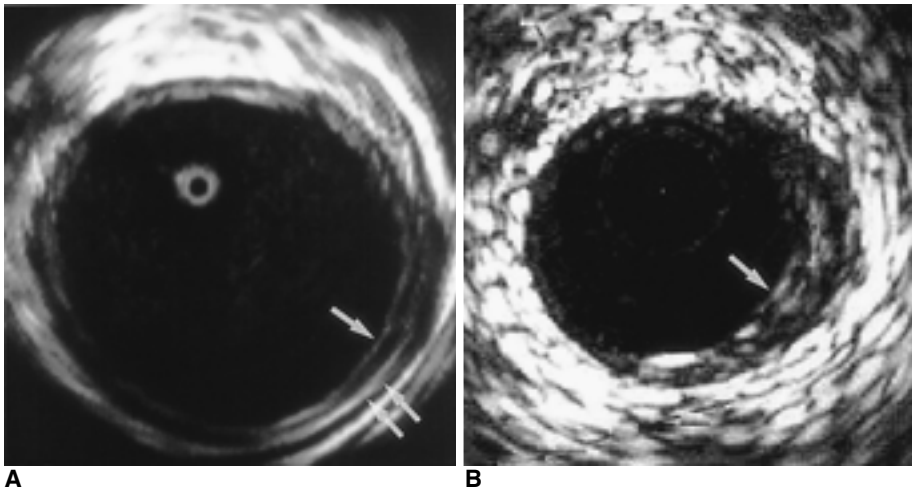



**Fig. 3.**Three layered appearance of arterial wall.
**A.** IVUS image of normal muscular artery. The wall of external iliac artery shows a characteristic three-layered appearance. Hyperechoic internal layer is intima (single arrow), middle echolucent layer is media, and outer brighter layer is adventitia(double arrow). **B.** Eccentric intimal thickening (arrow) in another segment of this artery is seen. 3-layered appearance is preserved.

artery)의 2가지 종류가 존재하는데, 이 혈관들은 중막층에 위치한 평활근 세포 및 결체조직(connective tissue), 탄력소(elastin)의 조성에 따라 분류한다. 따라서 탄력 중막(elastic media)을 가진 탄력 동맥과 주로 평활근으로 구성된 중막을 가진 근동맥의 에코 양상은 다르다. 탄력 동맥(대동맥, 주폐동맥 및 경동맥, 총장골동맥, 상완두동맥, 쇄골하동맥의 근위부)은 중막층에 탄력소와 교원질(collagen)이 많이 분포하며, 이들은 음향 반사(echo reflection)를 많이 일으켜 IVUS에서 3개의 층이 잘 구분되지 않는다 [13]. 중간 직경의 근동맥은 3개의 구별되는 층으로 구성되어 있으며, 보통 외막은 혈관 주위의 조직으로 인해 구별이 어려우며 건강한 젊은 사람의 내막은 얇아서 초음파상 구별이 안 되는 경우가 있으나 고혈압이나 동맥경화가 있는 경우 대부분의 내막은 고에코의 층으로 구별이 된다. 이 외에 IVUS에서 동맥의 벽이 3층으로 구분되어 보이는 것이 연령과 관련된 것으로 알려져 있는데 이는 연령이 증가함에 따라 내막 비후가 발생하여 잘 구분되어지는 것으로 알려져 있다 [8].

동맥 경화증의 IVUS 영상(Atherosclerotic Disease)

동맥 경화증은 가장 치명적인 내과적 질환의 하나로서 이로 인한 관상동맥 및 말초동맥 질환의 유병율은 빠른 속도로 증가하고 있다. 동맥 경화증의 진단에 있어 혈관 조영술이 주된 영상 진단법으로 이용되고 있으나 IVUS는 혈관의 침범부위와 정도를 정확히 진단할 수 있으며 혈관내 각종 변화의 감별진단이 가능하다. 예를 들어, 혈전(thrombus)은 반향성이며 균질한(homogeneous) 양상을 보이며 혈병(clot)의 경우 다양한 에코를 보이는데 석회화의 정도나 그 두께에 따라 그 반향성(echogenecity)이나 후방 감약(posterior shadowing)의 정도가 결정된다. 콜레스테롤 반(cholesterol plaque)은 저에코이며 내막 증식(intimal hyperplasia)은 중등도의 에코로 보인다.

IVUS를 이용한 혈관의 단면 영상은 동맥벽에 위치한 죽상판(atheromatous plaque)의 위치와 파급 부위를 정확히 평가할 수 있으며 많은 경우에서 혈관 조영술에서는 관찰할 수 없었던 죽상판을 관찰할 수 있다. 그 예로, 혈관 조영술에서 죽상판으로 인한 협착이 있는 경우, 협착의 정도를 측정하기 위해 비교하는 주위의 정상으로 보이는 혈관도 IVUS로 검사시 혈관내강의 35 - 40%가 죽상판으로 인하여 좁아져 있는 경우도 있다고 보고하고 있다 [8]. 특히 죽상판이 균일하고 동심성으로 배열(concentrically layered)되며 경미한 협착을 일으킨 경우 더욱 그 발견율은 차이가 난다 [14]. Ge 등은 관상동맥의 무증상의 동맥경화나 보상성 확장(compensatory enlargement) 혹은 재구성(remodeling)도 IVUS로 확인할 수 있어 관상동맥 질환을 조기에 치료할 수 있다고 보고하고 있다 [15]. 동맥경화증에 의하여 혈관벽에 침착되는 지질은 저에코로 관찰되며, 섬유화된 조직 및 결체 조직(collagen)은 음향 반사를 일으켜 균일한 고에코의 구조로 관찰된다. 또한 석회화는 다른 장기에서 관찰되는 것과 마찬가지로 강한 고에코와 함께 후방 음향 감약이 관찰된다 (Fig. 4). 그 중 지질군(lipid pool)은 불안정한 죽종을 의미하므로 임상적으로 주의하여야 한다 [16, 17]. 이외에 혈관내 혈전의 경우 매우 다양한 에코 양상을 나타내므로 감별에 주의를 필요로 한다 (Fig. 5).

경피적 경혈관 혈관 성형술 및 혈관내 인공물 삽입술

(Percutaneous Transluminal Angioplasty and Endovascular prosthesis)

IVUS는 풍선 혈관 성형술(balloon angioplasty)이나 스텐트를 이용한 혈관의 중재적 시술시 치료의 유도 및 감시 장치로 사용되며 치료의 기전과 장기 추적 검사에 대하여 많은 새로운 정보를 제공하였다.

IVUS는 석회화 혹은 섬유화된 죽상판이나 편심성(eccentric) 혹은 동심성(concentric) 협착을 감별하는데 이는 혈관 성형술

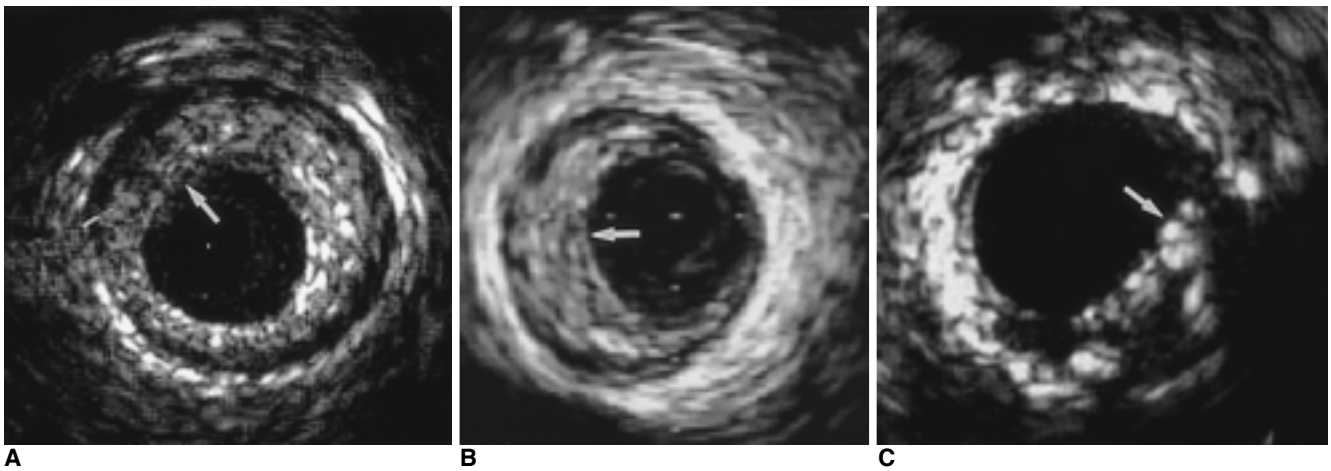


**Fig. 4.** Different echo-pattern of atheromatous plaque.
**A.** Fatty plaque shows homogenous lower echo intensity than adventitia (arrow). **B.** Fibrous plaque shows isoechogenicity with adventitia without posterior shadowing (arrow). **C.** Calcific plaque is iso or hyperechoic with the adventitia and shows posterior shadowing (arrow).

의 예후와 재협착 여부를 예측하는데 중요한 지표를 제공한다. 혈관 성형술을 시행할 경우 죽상판의 파열은 60 - 80%에서 발생하는데, 이러한 파열은 전단 응력(shear force)이 가장 높은 석회화 침착과 연죽상판(soft plaque) 사이에서 일어난다. 이와 같이 파열이 일어나는 경우 혈관 내경은 파열 없이 혈관벽이 늘어난(stretch) 경우보다 훨씬 많은 급성 확장을 보이나, 약 6개월 후에는 급성 확장이 모두 소실되는 것으로 IVUS를 이용한 연구로 잘 알려져 있다. IVUS는 이와 같이 혈관 성형술 후 발생할 수 있는 죽상판 파열이나 동맥 박리 등을 볼 수 있고 혈관강의 확장이 병변의 변화가 없는 단순한 혈관벽의 늘어남에 의한 것인지 여부를 확인할 수 있는데 이로 인한 탄성적 혈관 재협착(elastic vessel recoil)은 조기 협착의 기전으로 알려져 있다 [18]. 혈관 성형술 후 일차 개존성(primary patency)은 개통된 혈관강의 면적(free luminal area)과 죽상판의 비균질도와 관계되며 이는 IVUS로 판정할 수 있는 반면 혈관 조영술로 시행한 측정은 예측도(predictive value)를 가지지 못하는 것으로 알려져 있다 [19].

혈관 협착의 치료에 근래에는 스텐트를 많이 사용하고 있다. 스텐트 삽입술은 협착 부위를 혈관벽쪽으로 밀어 혈관의 내경을 유지하는 치료법으로 이 치료법에서도 내막 증식에 의한 재협착이 발생하나 국소적 수축(contraction)에 의한 재협착은 방지할 수 있기 때문에 풍선 혈관 성형술보다 재협착율이 낮다. 그러나, 스텐트를 이용한 혈관 협착을 치료하기 시작한 초기에는 3 - 7일(아급성기) 후, 혈전에 의한 스텐트 폐색이 약 20%에서 발생하였다. 이러한 경우 혈관 조영술에서는 스텐트가 적절하게 삽입된 것으로 관찰되었으나, IVUS로 스텐트의 불완전 밀착(Incomplete apposition)과 불완전 팽창(incomplete expansion)이 발생한다는 2가지 문제점을 발견하였다. 불완전 밀착은 스텐트가 혈관벽에 완전히 밀착되지 않아 스텐트와 혈관벽 사이에 공간이 생겨 금속 스텐트가 혈류 내에서 혈전 형성을 유발하는 것이며, 불완전 팽창은 죽상판의 단단한 부위(주로 석회화)에서 스텐트가 팽창이 안되고 눌리게 되어 발생하는 현상이다 (Fig. 6). 불완전 팽창은 혈관 조영술시 20%에서 관찰할 수 있으나 IVUS에서는 40% 정도에서 볼 수 있으며 이는 조기의 혈전 형성뿐 아니라 스텐트의 이동(migration)을 유발하는 것으로 보고되었다 [20]. 이와 같은 현상들을 IVUS를 이용하여 발견한 후, 스텐트 삽입시 고압으로 풍선 도관을 이용하여 혈관 확장을 시행하고 있으며 이에 따라 아급성 혈전 형성이 현저히 감소하여 스텐트 삽입 후 2%이하에서 발생하며, 재협착율도 감소하였다. 또한 반대로 과팽창도 발생할 수 있는데 이는 내막 과증식이나 혈관 박리, 혈관 천공을 유발할 수 있으므로 IVUS는 이러한 부작용의 유발을 감소시키는데 도움을 줄 수 있다 (Fig. 7).

그러나 아직 많은 수의 환자에 있어 혈관 성형술이나 스텐트 설치술 후 내막 과증식 등에 의한 재협착이 발생하며 (Fig. 8), 이러한 재협착의 발생율을 줄이기 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 그 중 혈관 성형술이나 스텐트 설치 후 혈관내 방사선 조사(brachytherapy)가 혈관의 재협착을 감소시키는 방법으로 많은 연구가 진행되고 있으며 그 기전으로 내막 과증식의 억제와 혈관 재구성(remodelling)에 의한 수축(constriction)의 억제 등이 보고되고 있다. 여러 종류의 ß - 선이나 r - 선의 조사 후 혈관강의 면적 변화나 내막증식의 정도를 정량화 시켜 분석하는데 IVUS의 3차원 영상이 이용되고 있으며 혈관 성형술 및 스텐트 설치 후 혈관내 방사선 조사가 혈관강의 면적 감소에 유효함을 확인하는 여러 연구가 보고되고 있으나 아직 더 많은 임상실험이 필요한 실정이며 이의 시술 및 추적검사의 도구로서 IVUS가 유용하게 이용되고 있다 [21].

이와 같이 스텐트와 같은 혈관내 인공 삽입물(endovascular prosthesise)들이 동맥류나 다른 동맥질환의 치료에 외과적 수술보다 비교적 비침습적인 방법으로 개발되고 있으며 이러한 시술의 도구로서 여러 영상 진단법이 이용되고있다. 혈관 조영술의 경우 병변의 크기를 정확히 측정하기 어려우며 실시간 영

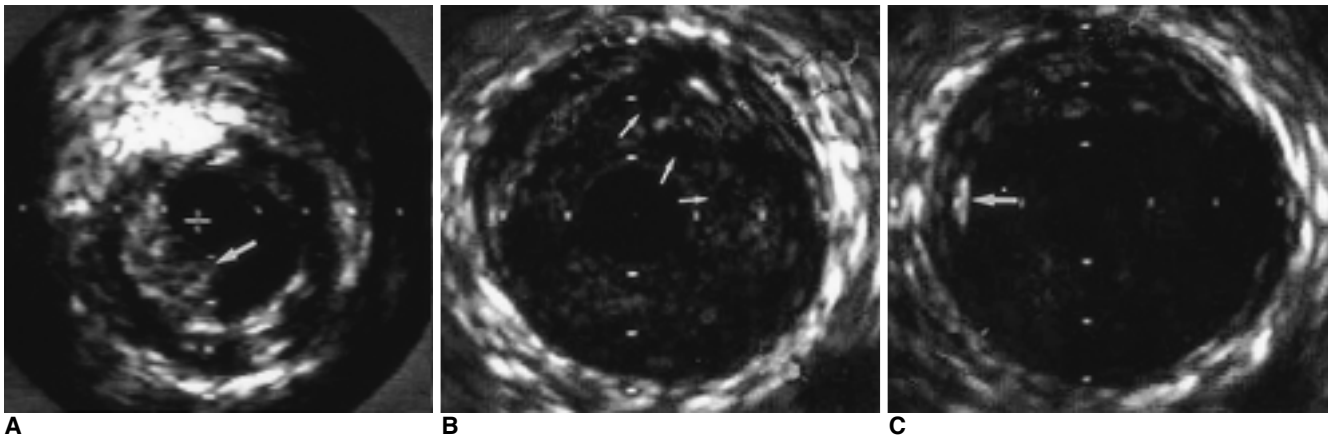


**Fig. 5.** Intra-arterial thrombus. Intra-arterial thrombus shows variable echogenicity, mimicking other atheromatous lesion. **A.** Focal thrombus shows lobulated or cauliflower-like appearance (arrow). **B.** Formation of multiple microchannels (arrows) are seen in the chronic thrombus. **C.** Deep located calcified plaque (arrow) under the thrombus with sparse echogenicity.

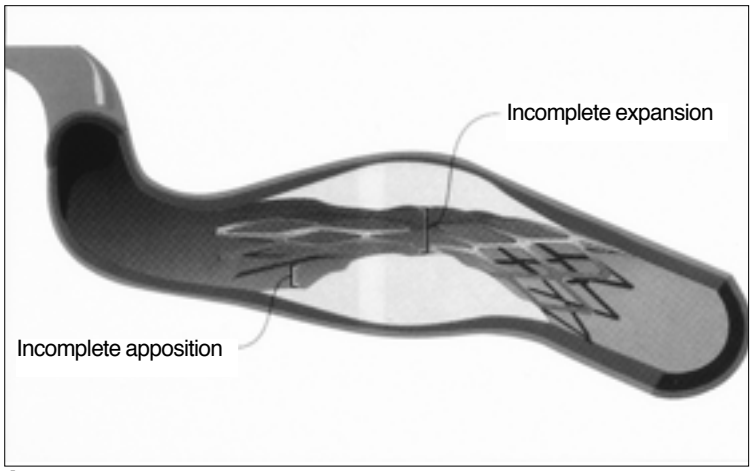
상으로 3차원적인 영상을 얻을 수 없고 조영제를 사용하여야 하는 단점이 있다. 나선식 CT는 대동맥 중재적 시술에 있어 가장 유용한 시술전 및 추적 검사방법이나 횡단면이 혈관에 직각으로 투사되지 않을 경우 병변의 크기가 정확히 측정되기 어렵고 바깥쪽의 외막이 조영 증강될 경우 혈관강의 직경이 과장될 수 있으며 부분적인 단단한 협착의 경우 병변이 평균화(averaging out)되어 실제 시술시 병변의 통과에 어려움을 겪을 수 있다. 실제로 5mm 두께의 얇은 절편으로 시행한 CT 의 경우도 매우 짧은 협착이 있는 병변의 혈관강 내경은 IVUS의 측정과 50% 정도에서 다르게 나타난다.

IVUS를 이용할 경우 혈관의 구불어짐을 극복해야 하는 어려움이 있고 심한 석회화된 죽상판이 있는 경우 초음파의 투과에 장애를 받으며 도관의 방사선 투시기(fluoroscopy) 유도가 필수적이라는 단점이 있다. 그러나 X-선의 투시양을 획기적으로 감소시킬 수 있고(대동맥의 스텐트 이식편(stent-graft) 시술의 경우 1-3분 정도 소요됨), CT나 혈관조영과 비교하여 혈관 및 병변의 용적 및 인공 삽입물의 위치를 가장 정확히 측정할 수 있는 장점이 있다.

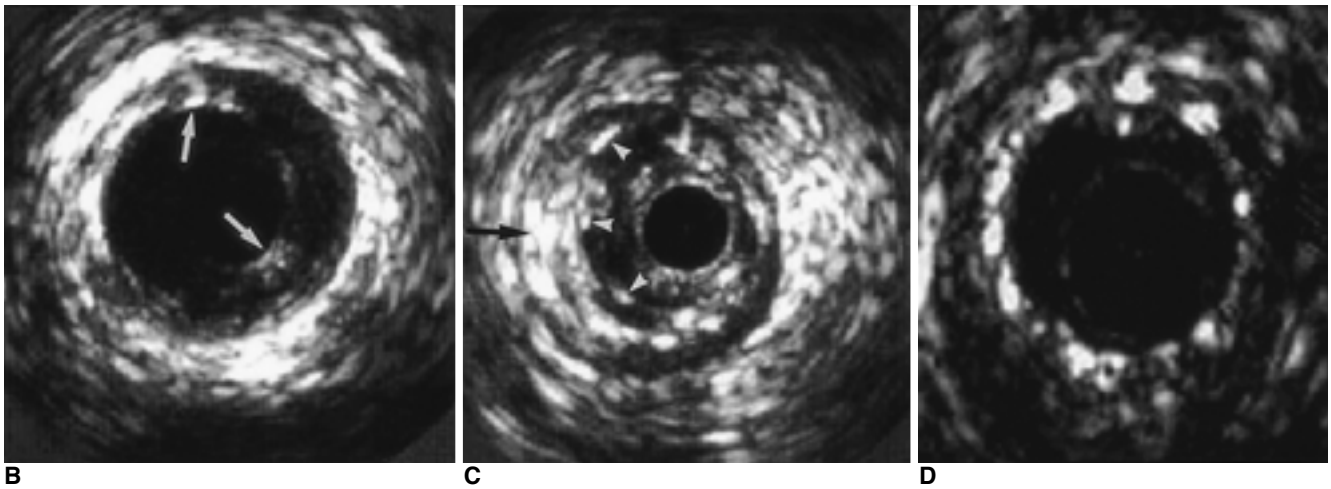
Nishanian 등은 모든 혈관내 스텐트 이식편의 시술에 IVUS를 사용하였으며, 그 결과 20% 의 환자에서 스텐트 이식편 설치의 위치나 크기를 시술전 나선형 CT를 기준으로 계획했던 것에서 변경해야 했다고 보고하고 있다. 그들은 혈관내 스텐트 이식편의 시술시 방사선 투시기는 유도철사의 병변 부위 통과에 사용하며 그 이후의 혈관 모양 및 병변의 용적, 분지혈관 검사는 IVUS로 시행하고 이식편의 설치 후 성공적인 동맥류의 폐색(sealing)의 판정여부에는 혈관 조영술과 IVUS를 모두 사용하여 시술의 성공율을 높일 수 있었으며, 조영제의 사용과 혈관 투시 유도(road mapping)의 시간을 줄일 수 있으므로 특히 조영제 사용이 제한되는 환자에 있어 유용하다고 보고하고 있다 [9].

대동맥 박리(Aortic Dissection)

대동맥 박리는 대동맥 질환 중 가장 위험한 질환으로, 치료를 하지않을 경우 발생 후 일주일 내에 약 반수 이상이 사망하고, 1년내에 90% 이상이 사망하는 것으로 알려져 있다. 대동맥 박리 환자의 주요 사망 원인은 가강(false lumen)의 팽창에




A



B C D

**Fig. 6.** Stent apposition.
**A.** Schematic drawing of the incomplete apposition and the incomplete expansion. **B.** Incomplete apposition: part of the stent (arrows) is not contact with the vessel wall and is disrupting the blood flow. **C.** Incomplete expansion: segment of the stent is not fully expanded (arrowhead). It occurs in rigid, calcified area of the plaque (arrow). **D.** Complete apposition and expansion of the stent.

의한 대동맥의 파열 혹은 대동맥에서 분지하는 혈관이 혈류를 공급하는 장기의 허혈(ischemia)로 알려져 있다. 그 중 장기 허혈의 경우, 과거에는 심장 박동에 따른 내막판(intimal flap)의 움직임을 관찰할 수 없었으므로 수술이나 부검으로 내막 박리가 대동맥 분지까지 파급되어 혈류 공급을 차단하는 것으로만 추측하였다. 그러나, IVUS 연구로 대동맥 분지의 허혈이 이와 같은 정적 폐색(static occlusion) 이외에 대동맥에 위치한 내막판이 가강의 압력에 의해 동맥 분지의 기시부를 막아서 발생하는 동적 폐색(dynamic occlusion)으로도 유발됨이 증명되었다 [22].

근래에는 도관을 이용한 중재적 치료술의 발달로 대동맥 박리의 치료에 스텐트 이식편을 진강(true lumen)의 내막파열 입구(entry tear)에 삽입함으로써 가강의 혈전을 유발하는 시술과 분지 혈관의 허혈에서는 스텐트 삽입 및 천공술(fenestration)등의 시술이 행해지고 있다. 이러한 치료를 시행할 경우, 진강과 가강의 감별이 매우 중요한데, IVUS에서 진강과 가강의 연결부는 Y 자 형태로 보이는데 수직의 선은 진강의 대동맥 벽의 전층을, 2개의 사선은 가강의 바깥쪽 벽과 내막판을 나타내며 내막판과 가강의 바깥쪽 벽은 예각을 갖는다 [23, 24]. 혈전은 대부분 가강에 발생하며 불균질한 에코를 가지나 가강의 느린 혈류와 감별이 어려울 경우 생리 식염수나 초음파 조영제를 주입하며 에코의 변화를 관찰함으로써 감별을 할 수 있다 [23] (Fig. 9).

IVUS는 동맥벽 박리의 위치와 그 침범 정도, 분지 혈관들의 기시부를 확인할 수 있으며 내막판은 결체 조직이 포함되어 있어 혈류와 쉽게 구별되므로 동맥 박리의 진단이 불확실한 경우 유용한 진단법이 될 수 있다. 또한 근위부 진입부(proximal entry), 원위부 재진입부(reentry)를 확인할 수 있으며 진강과 가강의 관계 및 적당한 혈관내 장치(endoluminal device)의 크기의 결정에 유용하다.

정맥계 중재적 시술(Venous Intervention)

정맥의 중재적 시술은 IVUS에 있어 새로이 발전하는 분야이다.

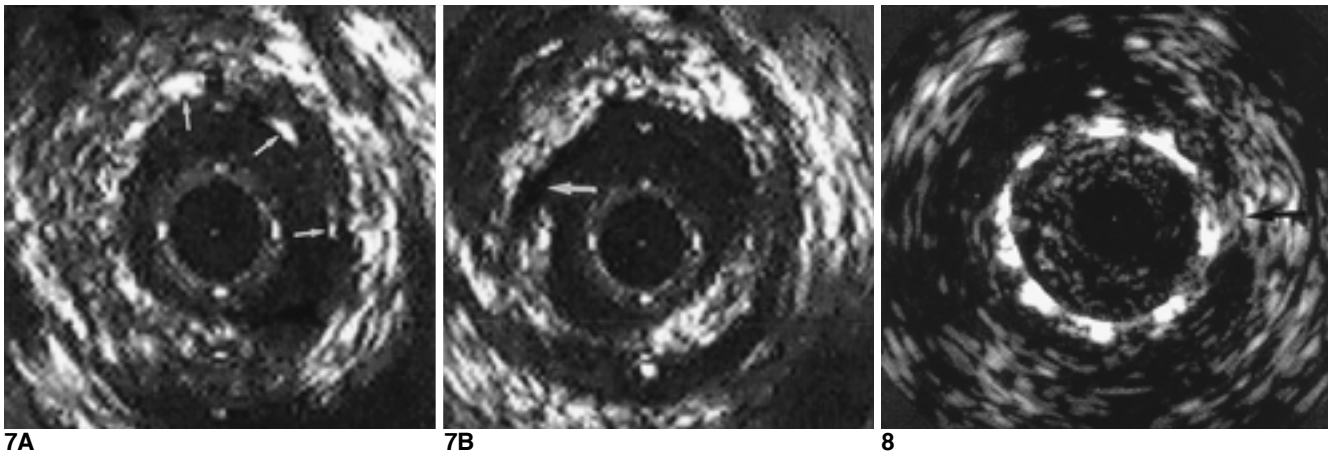
간암이나 신장암의 하대정맥 침범 여부의 검사에 있어 95% 이상의 정확성을 가지며 [25], 췌장 선암(pancreatic adenocarcinoma)의 수술시 문맥의 침범여부도 하장간막 정맥을 통하여 정확히 결정할 수 있다 [26]. 또한 하대정맥 여과기(IVC filter)의 설치에서 신정맥의 위치를 확인할 수 있어 여과기 설치의 정확한 위치 선정에 이용되고 있다.

***B. 비혈관계***

IVUS 도관 및 탐촉자는 혈관계 질환에 적용하기 위해 고안되었으나 다양한 비혈관계 질환의 진단 및 치료에도 이용되고 있다.

비뇨기계(Urinary Tract)

IVUS는 보통 1 - 2 mm 정도의 직경을 가지므로 요도를 쉽게 통과할 수 있으며 요실금(urinary incontinence) 환자의 요도 괄약근(urethral sphincter)의 콜라겐 주입(collagen injection)이나, 요도 스텐트의 설치 및 그 추적검사 등에 이용된다[27]. 또한 IVUS는 요도 게실(urethral diverticula)의 진단에 도움을 줄 수 있으며 특히 그 수술적 치료에 있어 요도 주위의 염증의 파급 정도나 게실 벽으로부터 요도까지의 거리를 정확히 알 수 있어 수술시 박리를 쉽고 안전하게 할 수 있으며 상피하 잔류 낭종(subepithelial cystic remnants)의 여부를 알



7A 7B 8

**Fig. 7.** Marginal dissection after stent deployment.
**A.** At the distal end of the stent, all layers of the arterial walls are intact. Several struts of the stent are visible (arrow). **B.** However, the intimal layer at just marginal portion of the stent is dissected after the ballon apposition of stent. Large intimal tear is seen (arrow).
**Fig. 8.** Neointimal hyperplasia after the stent deployment.
8 months after the stent deployment due to the atherosclerotic plaque, stent lumen is occupied with the neointimal hyperplasia, which shows homogeneous echogenicity. Compresssion of echogenic plaque is seen outside the stent strut (arrow).

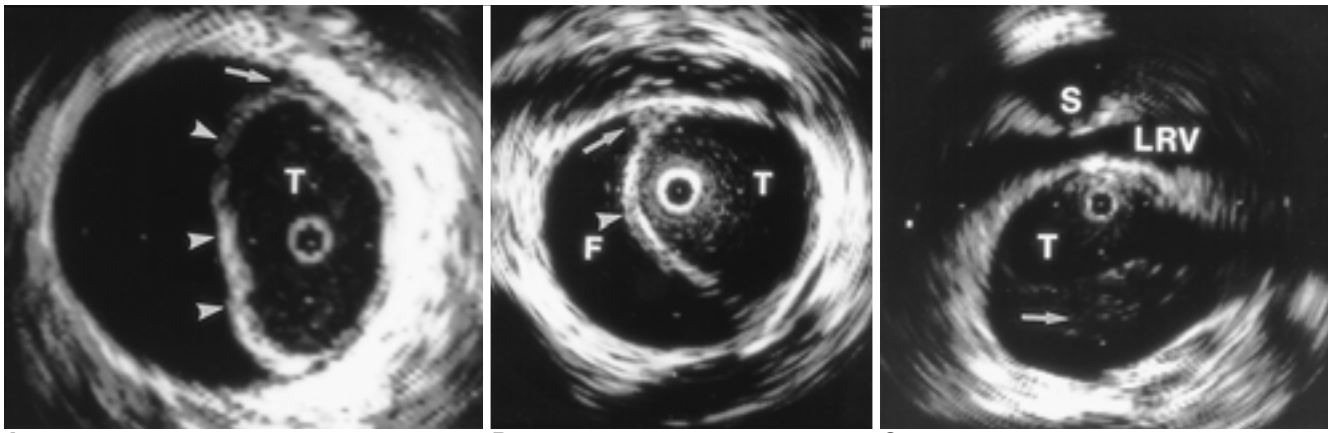



**Fig. 9.** IVUS images of the aortic dissection.
**A.** The IVUS catheter is the small, dark circle in the true lumen. The characteristic sharp angle (arrow) in the wedge-like space between the dissection flap (arrowhead) and the outer wall of the false lumen. The intact outer wall of aortic true lumen shows 3-layer appearance, whereas the intimal flap and outer wall of false lumen appear as a single-layered, hyperechoic structure. **B.** Absence of the acute angle (arrow) between the dissection flap (arrow head) and the outer wall of the false lumen due to the thrombus deposition and neointimal growth in the angle itself. **C.** IVUS image of the aorta at the level of the left renal vein. Hyperechoic thrombus adheres to the dissection flap in the false lumen (arrow). T = true lumen, F = false lumen, LRV = left renal vein, S = superior mesenteric artery.

수 있어 수술 후 재발의 위험을 줄일 수 있다 [28].

그 외, 작은 방광 종양의 진단 및 그 침범정도를 정확히 알 수 있으며, 요로의 출혈이나 폐색의 원인을 진단하는데 요로 조영술(urography)나 CT, 통상적 초음파 검사와 더불어 정확성을 높일 수 있으며 이 경우 탐촉자를 삽입할 때 유도철사를 통하여 접근을 하므로 요도 파열의 위험을 피할 수 있다. 또한 요관 - 신우 이행부 폐색 환자의 신우내 성형술(endopyelotomy) 시 이상혈관(aberrant vessel)에 의한 폐색을 정확히 진단하므로 이들 혈관의 손상을 방지 할 수 있다.

생식기계(Reproductive Tract)

IVUS 탐촉자는 자궁경부를 쉽게 통과할 수 있으므로 점막하 근종, 자궁내막 폴립, 자궁내막 유착이나 나보시안 낭종(nabothian cyst) 등의 진단에 용이하다 [29].

또한 근래에는 IVUS를 이용하여 자궁 내막암의 침범정도를 결정하거나 나팔관의 검사에 이용하기 위한 연구가 진행 중이며 기존의 경복부 혹은 질내 초음파 검사와 병용하여 진단에 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다.

소화기(Gastrointestinal Tract)

통상적인 내시경 초음파 탐촉자와 IVUS와는 몇 가지 차이점이 있다.

먼저 IVUS는 직경이 작아 비강 영양관(nasogastric tube)과 내시경의 작업관(working chennel)을 통해 쉽게 삽입이 가능하고 내시경 탐촉자 에서와 같이 식염수로 채운 풍선이 없이 영상을 얻으므로 종양이나 식도 정맥류를 압박할 가능성이 없다. 또한 내시경 탐촉자는 7.5 - 12 MHz 정도의 낮은 주파수를 사용하나 IVUS는 더 높은 해상도를 얻을 수 있는 20 MHz 정도의 주파수를 사용하므로 IVUS로는 위장관 벽의 5층을 확인할 수 있는 반면, 통상적인 내시경 초음파 탐촉자로는 3층 정도 밖에 구별을 할 수 없어 위장관 벽의 미세한 변화까지 관찰할 수 없다 [30]. 그 예로 식도 괄약근의 무이완증 환자에 있어 하부 식도 괄약근의 고유근층(muscular propria)이 정상인에 비해 두꺼워진다는 것을 IVUS를 통해 확인할 수 있었다 [31]. 이외에 음식물의 연하(swallowing)시 불완전한 이완이나 비정상적 수축을 IVUS로 관찰할 수 있어 종양의 침습에 의한 가성 무이완증과의 감별진단에 이용할 수 있을 것으로 생각된다. 또한 IVUS는 고해상도의 초음파 영상을 얻을 수 있으므로 식도나 위의 매우 작은 병변을 발견할 때도 유용하다. 평활근종(Lei - omyoma)은 고유근층과 연결이 있는 저에코의 종괴로 보이며 지방종은 점막하층에 위치한 고에코의 병변으로 나타난다[31]. 그러나 IVUS는 투과도가 낮기 때문에 큰 종괴나 위장관 주위의 임파절의 관찰은 어렵다는 단점이 있다.

담도계에서의 이용도 연구되고 있는데, 경피적 담즙 배액술 시 도관을 통해 담도를 관찰할 수 있으므로 담관암의 진단이나 그 파급 정도를 알 수 있으며 담도 스텐트가 효과적으로 설치되었는지를 판정할 수 있다 [32].

기관 및 기관지(Tracheobronchial Tree)

기관이나 주기관지의 경우 내강의 직경이 IVUS 보다 크므로 360도 단면을 얻기는 불가능하며 사용도 제한적이다. 그러나 말초 기관지의 종양의 검사에 IVUS는 기관지경이 접근하기 어려운 작은 기관지까지 도달이 가능하고 이 경우 360도 영상을 얻을 수 있으므로 종양의 유무나 그 침범 정도를 알 수 있고 기

관지경 조직검사의 정확성을 높일 수 있다.

## 5. 발전 방향

IVUS의 진단율을 높이기 위한 여러 가지 변형 및 연구가 시도 되고있다.

영상과 동시에 조직을 얻기 위해 탐촉자 도관 끝에 솔(brush)이나 다른 조직 검사 도구를 장착하거나 압력계를 동시에 달아 압력을 측정할 수 있는 탐촉자가 개발중이다. 이외에 IVUS는 거의 모든 도관을 이용한 중재적 시술 및 진단에서 이용되고 있으며, 그 중 일 예로 대동맥 협착(coarctation of aorta), 혈관 종양의 진단, 경경정맥 간내 문맥 정맥 단락술(transjugular intrahepatic portosystemic shunt)등에도 이용되고 있다. 또한 혈관 수축제에 의한 혈관직경의 변화와 혈류의 속도 및 부피의 측정에 관한 연구도 진행중이다 [33].

영상을 얻기 위한 IVUS와는 별도로 초음파의 물리적 성질을 이용한 조직의 감별(tissue characterization)이나 혈관성형술에 관한 연구가 진행되고 있으며 그 예로 조직에서 반사되어 나오는 고주파 정보를 분석하여 조직형의 감별을 시도하고 있다 [8].

또한, Goyen 등은 고에너지를 가진 42 kHz정도의 저주파수의 초음파를 발산할 수 있는 9 F 직경의 도관으로 혈관 성형술을 시도하였으며 실제로 9명의 말초동맥 폐색 환자의 혈관 재개통을 성공적으로 시술하였다고 보고하고 있다 [34]. 이 경우 정상 혈관벽과 폐색을 유발하는 혈전, 죽상판 등과의 신축성의 차이로 인하여 혈관벽에 손상을 가하지않고 선택적으로 폐색물질을 파괴시킬 수 있는 것으로 알려져 있다 [35].

앞으로 IVUS가 더 활발하게 이용되기 위하여서는 IVUS의 크기를 더욱 줄이고 가격이 저렴해져야 할 것으로 생각되어지며, 또한 색 도플러, 3 차원 재구성, 전방 영상(forward viewing), IVUS 유도하 풍선 성형술, IVUS 유도하 죽종 제거술(atherectomy) 등이 가능한 탐촉자 및, 영상 유도 철사(imaging guidewire) 등의 개발 및 개선이 필요할 것으로 생각된다.

## 참 고 문 헌


1. Bom N, ten Hoff H, Lancee CT, et al. Early and recent intraluminal ultrasound devices. Int Card Imaging 1989;4:79-88
2. Cieszynski T. Intracardiac method for the investigation of the structure of the heart with the aid of ultrasonics. Arch Immunol Ter Dow 1960;8:551-557
3. Wild JJ, Reid JM. Diagnostic use of ultrasound. Br J Phys Med 1956;19:248-257
4. Omoto R. Intracardiac scanning of the heart with the aid of ultrasonic intravenous probe. Jpn Heart J 1962;8:569-581
5. Fukuda M, Hirata K, Saito K et al. On the diagnostic use of echoendoscope in abdominal disease. 1.diagnostic experiences with a new type of echoendoscope on gastric disease. Proc Jpn J Med Ultrasound 1980;37:409-410
6. Holm HH, Notheved AA. A transurethral ultrasonic scanner. J Urol 1974;111:238-248
7. Slager CJ, Essed CE, Schuurbiers JCH, Bom N, Serruys PW, Meester GT. Vaporization of atherosclerotic plaques by spark erosion. J Am Coll Cardiol 1985;5:1382-1386
8. Yock P, Fitzgerald P, Popp R. Intravascular ultrasound. Scientific American Science and Medicine. 1995;Sep/Oct:2-11
9. Nishanian G, Kopchok GE, Konayre CE, White RA. The impact of intravascular ultrasound (IVUS) on endovascular interventions. Semin Vasc Surg 1999;12:285-299
10. van Urk H, Gussenhoven WJ, Gerritsen GP, et al. Assessment of arterial disease and arterial reconstructions by intravascular ultrasound. Int J Cardiac Imaging 1991;6:157-164
11. Burns PN, Goldberg BB. Ultrasound contrast agents for vascular ultrasound. Int J Cardiac Imaging 1991; 6:157-164
12. Li W, von Birgelen C, Di Mario C, et al. Semi-automated contour detection for volumetric quantification of intracoronary ultrasound. Computers in Cardiology: IEEE Computer Society Press, 1994;277-280
13. Nishimura RA, Welch TJ, Stanson AW, Sheedy PF II, Holmes DR Jr. Intravascular US of the distal aorta and iliac vessels: initial feasibility studies. Radiology 1990;176:523-525
14. Engeler CE, Yedicka JW, Letourneau JG, Castaneda-Zuniga WR, Hunter DW, Amplatz K. Intravascular sonography in the detection of arteriosclerosis and evaluation of vascular interventional procedure. AJR 1991;156:1087-1090
15. Ge J, Erbel R, Zamorano J, et al. Coronary artery remodeling in atherosclerotic disease: an intravascular ultrasound study in vivo. Coron Artery Dis 1993;4:981-986
16. Meyer CT, Chiang EH, Fechner KP, et al. Feasibility of high-resolution intravascular ultrasonic imaging catheters. Radiology 1988;168:113-116
17. Nishimura RA, Edward WD, Warnes Ca, et al. Intravascular ultrasound imaging: in vitro validation and pathologic correlation. J Am Coll Cardiol 1990;16:145-154
18. Tobis JM, Mahon DJ, Goldberg SL, et al. Lessons from intravascular ultrasonography: observations during interventional angioplasty procedures. J Clin Ultrasound 1993;21:589-607
19. Vogt KJ, Rasmussen JG, Just S, et al. Effect and outcome of balloon angioplasty and stenting of the iliac arteries evauated by intravascular ultrasound. Eur J Vasc Endovasc Surg 1999;17:47-55
20. Katzen BT, Benenati JF, Becker GL, et al. Role of intravascular ultrasound in peripheral atherectomy and stent deployment. Circulation 1991;84:2152
21. Costa MA, Sabate M, Serrano P, et al. The effect of 32P beta-radiotherapy on both vessel remodeling and neointimal hyperplasia after coronary balloon angioplasty and stenting: a three-dimensional intravascular ultrasound investigation. J Invas Cardiol 2000;12:113-120
22. Williams DM, Lee DY, Hamilton BH, et al. The dissected aorta:part III. anatomy and radiologic diagnosis of branch-vessel

compromise. Radiology 1997;202:37-44
23. Lee DY, Williams DM, Abrams GD. The dissected aorta:part II. differentiation of the true from the false lumen with intravascular US. Radiology 1997;203:32-36
24. Williams DM, Andrews JC, Marx MV, Abrams GD. Creation of reentry tears in aortic dissection by percutaneous balloon fenestration: gross anatomic and histologic considerations. J Vasc Interv Radiol 1993;4:75-83
25. Kaneko T, Nakao A, Endo T, et al. Intracaval endovascular ultrasonography for malignant hepatic tumor: new diagnostic technique for vascular invasion. Semin Surg Oncol 1996;12:170-178
26. Hannesson PH, Strideck H, Lundstedt C, et al: Intravascular ultrasound for evaluation of portal venous involvement in pancreatic cancer. Eur Radiol 1997;7:21-25
27. Chancellor MB, Karusick S, Erhard MJ, et al. Placement of a wire mesh prosthesis in the external urinary sphincter of men with spinal cord injuries. Radiology 1993;187:551-555
28. Chancellor MB, Liu JB, RivasDA, Karusick S, Bagley DH, Goldberg BB. Intraoperative endoluminal ultrasound evaluation of urethral diverticula. J Urol 1995;153:72-75
29. Goldberg BB, Liu JB, Kuhman K, et al. Endoluminal gynecologic ultrasound: preliminary results. J Ultrasound Med 1991;10:583-590
30. Kimmey MB, Martin RW, Hagitt RC, et al. Histologic correlation of gastrointestinal ultrasound images. Gastroenterology 1989;96:433-441
31. Liu JB, Miller LS, Goldberg BB, et al. Transnasal US of the esophagus: pre-liminary morphological functional studies. Radiology1992; 184 : 721 -727
32. Shapiro MJ, Bonn J, Sulivan KL, et al. Endoluminal biliary ultrasound initial clinical experience. J Vasc Interv Radiol 1991; 2: 11 - 12
33. Wilson MW, Webb RC, Marx MV, Williams DM, Buda AJ. Intravascular ultrasound imaging in the physiologic assessment of arterial responsiveness of different vascular beds to a vasoconstrictor agent(abstr) . Circulation 1990; 82[suppl III]: 459
34. Goyen M, Kroger K, Buss C, Rudofsky G. Intravascular ultrasound angioplasty in peripheral arterial occlusion. Acta Radiol 2000;41:122-124
35. Rokosova B, Rapp JH, Porter JM, et al. Composition and metabolism of symptomatic distal aortic plaque. J Vasc Surg 1986;3:617-622